

Giberellik Asit (GA₃) Uygulamasının Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) İslahında Kullanım İmkânlarının Araştırması

Abdullah Çil^{1*}, Ayşe Nuran Çil², Hatice Hızlı²

¹ Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü, Adana

² Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 7.11.2025
Kabul Tarihi: 28.12.2025
Yayın Tarihi: 31.12.2025

Anahtar Kelimeler:

Ayçiçeği,
Giberellik asit,
Büyüme düzenleyici,
Döllenme,
Hibrit tohum üretimi.

ÖZET

Bu çalışma, farklı giberellik asit (GA₃) konsantrasyonları, uygulama dozları ve uygulama tarihlerinin ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin temel morfolojik ve fenolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada bitki boyu, tabla çapı, döllenme oranı ve çiçeklenme süresi olmak üzere verimle ilişkili dört temel özellik incelenmiştir. Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuş; altı farklı GA₃ konsantrasyonu (0, 45, 60, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹), bitki başına üç uygulama dozu (5, 7.5, 10 mL bitki⁻¹) ve üç farklı uygulama zamanı (47, 50 ve 53. gün) değerlendirilmiştir. GA₃ çözeltileri distile su kullanılarak hazırlanmış ve uygulamalar püskürtme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen araştırma bulgularına göre GA₃ uygulamalarının bitki boyu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiler oluşturduğu belirlenmiştir; özellikle 75–200 mg L⁻¹ konsantrasyon aralığında uygulanan GA₃'ün bitkilerde belirgin boy artışına neden olduğu gözlenmiştir. Buna karşın, GA₃ uygulamalarının tabla çapı üzerinde azaltıcı bir etki gösterdiği, en yüksek değerin kontrol uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. Döllenme oranı bakımından orta düzey GA₃ uygulamaları (45–75 mg L⁻¹) olumlu sonuçlar üretmiş; yüksek konsantrasyonlar ise döllenme oranını düşürmüştür. Çiçeklenme süresi GA₃ uygulamalarıyla genel olarak kısalmış, özellikle 60–75 mg L⁻¹ düzeyleri erken çiçeklenmeyi teşvik etmiştir. Araştırma sonuçları, GA₃'nin ayçiçeğinde vejetatif gelişmeyi artırırken generatif özellikler üzerinde çift yönlü etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Optimum GA₃ seviyelerinin doğru doz ve zamanda uygulanması, verim parametrelerinin iyileştirilmesine katkı sağlayabilecektir. Bu çalışma, ayçiçeği yetiştiriciliğinde büyüme düzenleyicilerinin etkin kullanımına yönelik önemli bilimsel bilgiler sunmaktadır.

Research on the Usage Possibilities of Gibberellic Acid (GA₃) Application in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Breeding

Article Info

Received: 7.11.2025
Accepted: 28.12.2025
Published: 31.12.2025

Keywords:

Sunflower,
Gibberellic acid,
Growth regulator,
Fertility,
Hybrid seed production.

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effects of different gibberellic acid (GA₃) concentrations, application doses, and application timings on key morphological and phenological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Four yield-related traits were examined: plant height, head diameter, fertilization rate, and flowering time. The experiment was established as a randomized complete block design with three replications. Six GA₃ concentrations (0, 45, 60, 75, 100, and 200 mg L⁻¹), three application doses per plant (5, 7.5, and 10 mL plant⁻¹), and three application timings (47th, 50th, and 53rd day) were evaluated. GA₃ solutions were prepared using distilled water, and applications were carried out by spraying. According to the results, GA₃ applications had a statistically significant and positive effect on plant height; particularly, GA₃ applied within the 75–200 mg L⁻¹ range caused a marked increase in plant height. In contrast, GA₃ applications reduced head diameter, and the highest head diameter was obtained from the control treatment. In terms of fertilization rate, moderate GA₃ applications (45–75 mg L⁻¹) produced favorable outcomes, whereas higher concentrations decreased the fertilization rate. Flowering time generally shortened with GA₃ applications, and especially the 60–75 mg L⁻¹ levels promoted earlier flowering. Overall, the findings indicate that while GA₃ enhances vegetative growth in sunflower, it may exert bidirectional effects on generative traits. Applying the optimum GA₃ level at the appropriate dose and timing may contribute to improving yield-related parameters. This study provides important scientific information for the effective use of plant growth regulators in sunflower cultivation.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Çil, A., Çil, A. N., & Hızlı, H. (2025). Giberellik asit (GA₃) uygulamasının ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ıslahında kullanım imkânlarının araştırılması. *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(2), 104-115.

*Sorumlu Yazar: Abdullah Çil, acil7@hotmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Ayçiçeği (*Helianthus annuus ssp. macrocarpus*), Asteraceae familyasına ait olup $2n = 34$ kromozomlu, geniş adaptasyon yeteneğine sahip önemli bir kültür bitkisidir. Arkeobotanik veriler ile genetik çözümler, bu türün ilk olarak Kuzey Amerika'nın doğusunda, günümüzden birkaç bin yıl önce yerli topluluklar tarafından tarıma alındığını göstermektedir. Zamanla yağ üretimi, çerezlik kullanım ve süs bitkisi yetiştiriciliği gibi çeşitli amaçlara yönelik seçim süreçleri ile dünyanın farklı bölgelerine yayılmıştır (Mandel ve ark., 2013). *Helianthus* cinsi içerisinde çok sayıda yabancı tür bulunmakta olup, bu türler morfolojik yapı, yaşam süresi ve kromozomal özellikler bakımından geniş bir varyasyon sergilemektedir (Jan, 1997; Aboki ve ark., 2012). Günümüzde ayçiçeği, hem yağ sanayisi hem de yem katkı maddesi olarak yüksek ekonomik değere sahiptir. Türkiye, geniş ekim alanı ve üretim miktarıyla küresel ölçekte önemli üretici ülkeler arasında yer almaktadır (TÜİK, 2020; FAO, 2021).

Ayçiçeğinde hibrit çeşitlerin geliştirilmesi, türün sahip olduğu heterosis potansiyelinden yararlanmayı amaçlayan temel ıslah stratejilerinden biridir. Ancak klasik yöntemlerde uygulanan manuel kısırlaştırma işlemi hem zaman hem de iş gücü açısından oldukça maliyetlidir. Bu nedenle hibrit üretimini kolaylaştıran genetik erkek kısırlık (GMS), sitoplazmik erkek kısırlık (CMS) ve kimyasal melezleme ajanları (CHA) gibi alternatif mekanizmalar geliştirilmiştir. Erkek kısırlık, bitkide erkek organ fonksiyonunun devre dışı kalmasıyla ortaya çıkar ve kendileme riskini ortadan kaldırarak kontrollü melezlemeye imkân tanır. CMS, nükleer genler tarafından yönetildiğinden çevresel koşullara duyarlı olabilmekte ve her zaman istenen stabiliteyi sağlayamamaktadır (Fick, 1978; Kaul, 1988). CMS ise mitokondriyal kalıtımla aktarıldığı için daha kararlı bir sistem sunmakta ve uygun restorasyon genleri bulunduğu verimli bir hibrit üretim aracı hâline gelmektedir (Leclercq, 1969; Horn, 2002).

Her ne kadar CMS sistemi hibrit üretiminde yaygın kullanılsa da bazı çevresel stres koşullarında veya genetik uyumsuzluk durumlarında fertilitate restorasyonunda aksaklıklar yaşanabilmektedir. Bu nedenle kimyasal melezleme ajanları, özellikle kısa süreli erkek kısırlığın oluşturulması gereken durumlarda alternatif bir yöntem olarak önem kazanmıştır. CHA uygulamaları bitkinin belirli gelişim aşamalarında anter oluşumunu baskılayarak polen üretimini geçici olarak sınırlandırabilir ve bu durum kendileme eğilimi yüksek türlerde hibrit tohum üretimini kolaylaştırabilir (Virmani, 1994; Zhang ve ark., 2008).

Giberellik asit (GA_3), bitkilerde uzama büyümesi, internod gelişimi, çiçeklenme davranışı ve generatif organ farklılaşması gibi birçok fizyolojik süreci düzenleyen önemli bir büyüme hormonudur. Uygulama zamanı ve miktarına bağlı olarak bitkide boy uzamasını artırabilir, çiçek oluşumunu hızlandırabilir; ancak yüksek dozlarda fitotoksisiteye yol açabilmektedir (Kaya & Atak, 2012; Kaur & Gupta, 2013). Bazı gelişim dönemlerinde uygulanan yüksek GA_3 seviyelerinin anter gelişimini baskılayarak geçici erkek kısırlık oluşturabildiği ve bu etkinin entomofil türlerde kimyasal hibritizasyon amacıyla kullanılabileceği belirtilmektedir (Davis, 1982; Kaul, 1988).

Son yıllarda ayçiçeği üretiminde görülen verim artışlarının yalnızca yeni hibrit çeşitlerden değil, aynı zamanda büyüme düzenleyicilerinin kontrollü kullanımından da kaynaklandığı bildirilmiştir (Škorić, 2012; Kaya ve ark., 2018). Bu doğrultuda GA_3 'nin hem morfolojik gelişim hem de kısmi erkek kısırlık oluşturma kapasitesi nedeniyle ıslah çalışmalarında önemli bir araç olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma, Doğu Akdeniz koşullarında uygulanan farklı GA_3 konsantrasyonları, dozları ve uygulama zamanlarının ayçiçeğinin temel morfolojik ve fenolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Elde edilen bulguların, hibrit tohum üretiminde GA_3 'nin olası kullanım potansiyelinin değerlendirilmesine katkı sağlayacağı ve üretim süreçlerinin daha verimli hâle getirilmesine yönelik önemli bilgiler sunacağı öngörülmektedir.

YÖNTEM

Araştırma Yeri ve İklim Koşulları

Çalışma, 2019 yılı ikinci ürün yetiştiricilik döneminde Doğu Akdeniz kuşağında yer alan Adana ili Doğankent Tarımsal Araştırma sahasında gerçekleştirilmiştir. Bölge, yaz aylarında yüksek sıcaklık ve kuraklık, kış aylarında ise ılıman ve yağışlı koşulların hâkim olduğu tipik Akdeniz iklim karakterine sahiptir. Deneme süresince günlük sıcaklık ortalamaları 28–35°C arasında değişmiş, nispi nem genellikle %60–70 seviyelerinde seyretmiştir. Toprak nemi orta düzeyde olup deneme alanı killi-tınlı tekstüre sahip, hafif alkali reaksiyon gösteren (pH 7.6) bir yapı sergilemiştir. Toprak analizlerinde organik madde düzeyi %1.9, fosfor (P₂O₅) 32 kg da⁻¹ ve potasyum (K₂O) 68 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık birikimi, uzun güneşlenme süresi ve düşük hastalık baskısı nedeniyle bölge, büyüme düzenleyicilerinin etkilerini test etmek için uygun bir ekolojik ortam sunmaktadır.

Bitki Materyali

Denemede, Çukurova koşullarına uyum yeteneği yüksek olan ticari nitelikte bir ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) hibriti kullanılmıştır. Bitkiler 70 cm sıra arası ve 25 cm sıra üzeri mesafe ile ekilmiş; her parsel üç sıradan oluşturulmuş ve her sırada 10 bitki bulunacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Ekim 10 Haziran 2019 tarihinde gerçekleştirilmiş, hasat ise 15 Ekim 2019'da tamamlanmıştır. Yetiştirme sürecinde sulama, çapalama, yabancı ot kontrolü ve hastalık-zararlı yönetimi gibi standart agronomik uygulamalar uygulanmıştır.

Deneme Düzeni

Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak planlanmıştır. Denemede üç temel faktör değerlendirilmiştir:

1. GA₃ konsantrasyonu: 45, 60, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹
2. Uygulama hacmi: 5, 7.5 ve 10 mL bitki⁻¹
3. Uygulama zamanı: 47. gün (02.08. 2019), 50. gün (05.08. 2019) ve 53. gün (08.08.2019)

Ayrıca, herhangi bir GA₃ uygulanmayan kontrol grubu oluşturulmuştur. Tüm kombinasyonların üçer tekerrürü ile toplam uygulama birimi sayısı 46'ya ulaşmıştır.

GA₃ Uygulaması

GA₃ çözeltileri saf su kullanılarak hazırlanmış ve bitkilerde tabla oluşumunun erken görüldüğü dönemde el sprey pompası yardımıyla yaprak ve sap yüzeyine ince bir tabaka şeklinde uygulanmıştır. Uygulamalar sabah saatlerinde (08.00–09.00) rüzgârın düşük olduğu zamanlarda yapılmıştır. Konsantrasyon × doz × zaman kombinasyonları, GA₃'nin bitkideki vejetatif ve generatif süreçleri nasıl etkilediğini kapsamlı biçimde değerlendirmek amacıyla seçilmiştir. Ön çalışmalar, 45–75 mg L⁻¹ düzeylerinin büyümeyi desteklediğini, 100–200 mg L⁻¹ aralığında ise stres belirtilerinin ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Belirlenen uygulama aralıkları literatürde bildirilen uygun GA₃ seviyeleri ile de uyumludur.

Gözlem ve Ölçümler

- Denemede aşağıdaki özellikler değerlendirilmiştir:
- Bitki boyu (cm): Kök boğazı hizasından bitkinin en üst büyüme noktasına kadar dikey uzunluk ölçülmüştür.
- Tabla çapı (cm): Olgun dönem tablalarda merkezden kenara dijital kumpasla ölçüm yapılmıştır.

- Çiçeklenme süresi (gün): Ekim tarihinden ilk çiçek açımına kadar geçen süre kaydedilmiştir.
- Döllenme oranı (%): Tablada oluşan döllenmiş tohum sayısının toplam çiçek sayısına oranı hesaplanmıştır.
- Bu ölçümler AOAC (2016) kriterlerine uygun biçimde yapılmış; yöntemsel olarak Mut ve ark. (2006) ile Kaur ve ark. (2013)'ün uygulamalarından yararlanılmıştır.

İstatistiksel Analiz

Elde edilen tüm veriler JMP Pro 16.2 istatistik yazılımında değerlendirilmiştir. Çok faktörlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış, ortalamalar LSD %5 önem düzeyi ile karşılaştırılmıştır. Varyasyon katsayısı (CV %) hesaplanmış ve faktörler arası etkileşimler grafiksel olarak yorumlanmıştır. Bu analiz yaklaşımı, GA₃'nin bitki büyümesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde literatürde sıklıkla kullanılan yöntemler ile uyumludur (Singh ve ark., 2010).

BULGULAR

Bitki Boyu

GA₃ uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi yapılan varyans analizine göre anlamlı bulunmuştur ($P < 0.05$). Farklı GA₃ konsantrasyonlarına ait ortalamalar ve istatistikî gruplar Tablo 1'de sunulmuştur. Konsantrasyonlar dikkate alındığında bitki boyu değerlerinin 94.00 ile 113.50 cm arasında değiştiği görülmektedir. En kısa bitkiler GA₃ uygulanmayan kontrol parsellerinde ölçülmüş (94.00 cm) ve bu uygulama "a" grubunda yer almıştır. 45 mg L⁻¹ düzeyi, boy açısından kontrol ile aynı istatistikî grupta bulunmuştur. Buna karşılık 60, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ GA₃ uygulamalarında bitkiler belirgin şekilde daha uzun gelişmiş ve bu uygulamalar 110.07–113.50 cm aralığında değişen ortalamalarla "b" grubunda toplanmıştır.

Tablo 1

GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre bitki boyu ortalamaları (cm)

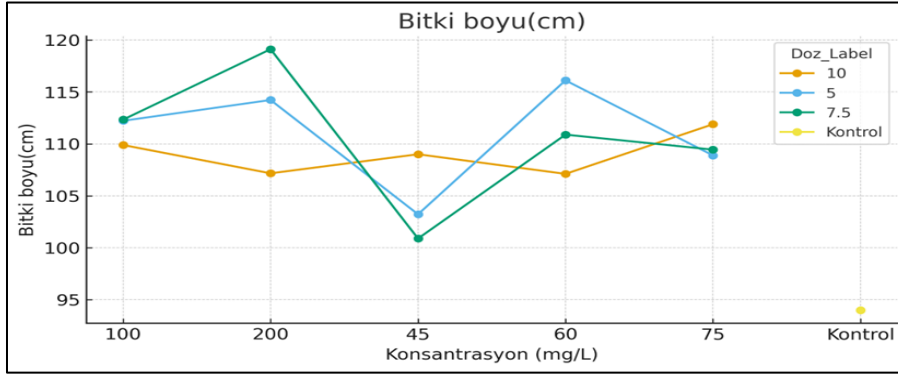
Faktör	Düzy	Ortalama	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	45 mg L ⁻¹	104.37	a*	7.75	7.42	7.18
	75 mg L ⁻¹	110.07	b	9.17	8.33	
	60 mg L ⁻¹	111.37	b	7.86	7.06	
	100 mg L ⁻¹	111.48	b	18.35	16.46	
	200 mg L ⁻¹	113.50	b	15.03	13.24	
Doz	10 mL	109.01	b	9.69	8.89	5.99
	7.5 mL	110.53	b	13.71	12.40	
	5 mL	110.93	b	14.12	12.73	
Uygulama Tarihi	53. Gün	101.98	a	9.67	9.48	5.32
	47. Gün	113.54	b	12.23	10.77	
	50. Gün	114.96	b	11.69	10.17	
Kontrol	0 mL	94.00	a	1.73	1.84	

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistikî açıdan önemlidir ($P < 0.05$).

Doz faktörü incelendiğinde, 0 mL'lik kontrol uygulaması en düşük bitki boyu değerini vermiştir (94.00 cm). GA₃ içeren 5, 7.5 ve 10 mL dozlarının birbirlerinden istatistiksel olarak ayrılmadığı, ancak her üç dozun da kontrol grubuna göre daha yüksek bitki boyu sağladığı (109.01–110.93 cm) belirlenmiştir (Şekil 1). Uygulama tarihleri arasında da anlamlı farklılıklar ortaya çıkmıştır.

Şekil 1

GA₃ konsantrasyonu ve uygulama dozlarına göre bitki boyu değişimi.



Şekil 1’de görüldüğü üzere, kontrol ve 53. Gün yapılan uygulama birimleri en kısa bitkileri oluştururken (94.00–101.98 cm), 47. ve 50. günlerinde yapılan uygulamalar sonucunda bitki boyu artmış ve ortalamalar 113.54–114.96 cm düzeyine ulaşmıştır. Grafik incelendiğinde, özellikle 75–200 mg L⁻¹ konsantrasyon aralığında GA₃’nin boy uzaması üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu görülmüştür.

Tabla Çapı

GA₃ uygulamalarının tabla çapı üzerine etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (P<0.05). Tablo 2’de gösterildiği gibi, tabla çapı ortalamaları 3.32 ile 10.75 cm arasında değişmiştir. En büyük tabla çapı, GA₃ uygulanmayan kontrol parsellerinde kaydedilmiş ve bu uygulama istatistiksel olarak “a” grubunda yer almıştır.

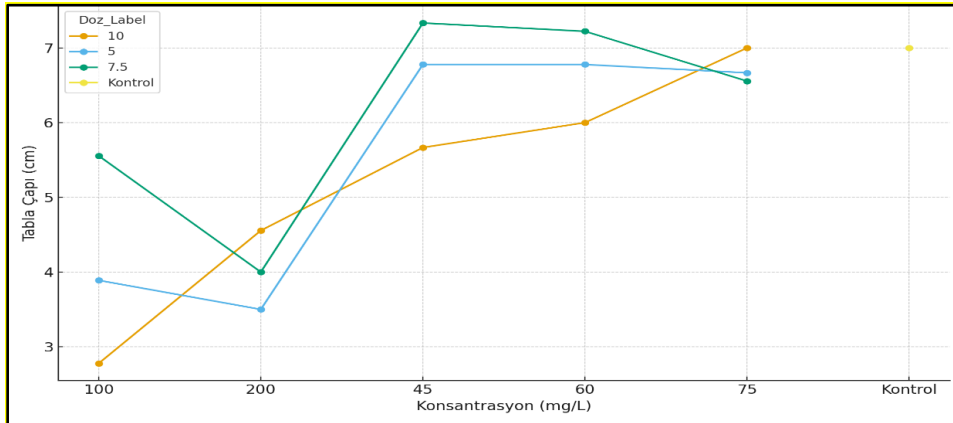
Tablo 2

GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre tabla çapı ortalamaları (cm)

Faktör	Düzyey	Ortalama	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	45 mg L ⁻¹	6.43	b*	2.66	14.15	0.89
	60 mg L ⁻¹	6.00	b	2.21		
	75 mg L ⁻¹	6.00	b	2.20		
	100 mg L ⁻¹	3.48	c	2.62		
	200 mg L ⁻¹	3.32	c	1.89		
Doz	5 mL	5.51	b	2.72	14.15	0.72
	7.5 mL	5.24	b	2.69		
	10 mL	4.32	c	2.53		
Uygulama Tarihi	47. Gün	4.81	b	2.33		0.84
	50. Gün	5.74	b	2.76		
	53. Gün	4.55	b	2.81		
Kontrol	0 mg L ⁻¹	10.75	a	1.50		

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir (P<0.05).

GA₃ uygulanan tüm konsantrasyon düzeylerinde kontrol grubuna kıyasla daha küçük tabla çapları elde edilmiştir. 45–75 mg L⁻¹ aralığındaki uygulamalarda orta düzeyde tabla çapı değerleri (6.00–6.43 cm) gözlenirken, 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında çap değerlerinin azaldığı (3.32–3.48 cm). Tespit edilmiştir (Şekil 2).

Şekil 2*GA₃ konsantrasyonu ve dozuna göre tabla çapı (cm) ortalamaları*

Doz faktörü açısından değerlendirildiğinde, kontrol grubu en yüksek tabla çapı değerini verirken, 10 mL dozunun uygulandığı parsellerde ortalamaların en düşük seviyeye indiği görülmüştür. **Şekil 2**, konsantrasyon arttıkça tabla çapında genel bir düşüş eğilimi olduğunu açık şekilde ortaya koymaktadır. Uygulama tarihleri bakımından en yüksek ortalama 50. Gün tarihli uygulamada, en düşük ortalama ise 53. Günde yapılan uygulamada elde edilmiştir.

Çiçeklenme Süresi(gün)

Çiçeklenme süresi üzerine GA₃ uygulamalarının etkisi de istatistikî olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). **Tablo 3**'de yer alan verilere göre, kontrol bitkilerinde çiçeklenme süresi 56–57 gün civarında gerçekleşirken, GA₃ uygulanan parsellerde bu sürenin 53–55 gün aralığına gerilediği görülmektedir.

Tablo 3*GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre çiçeklenme süresi ortalamaları (gün)*

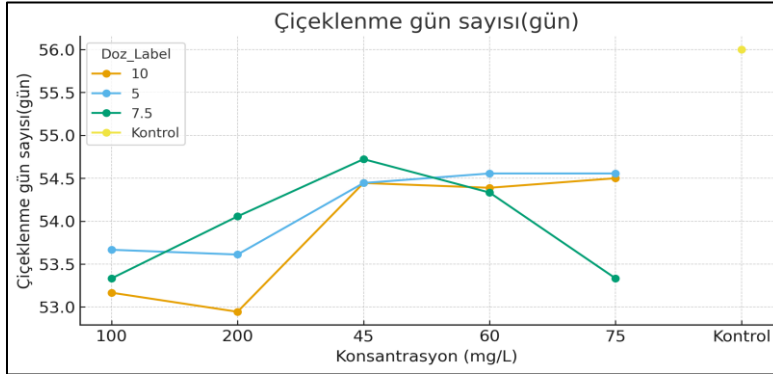
Faktör	Düzy	Ortalama (gün)	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	100 mg L ⁻¹	53.39	a*	1.30	2.44	0.69
	200 mg L ⁻¹	53.54	a	1.21	2.26	
	75 mg L ⁻¹	54.13	b	1.22	2.26	
	60 mg L ⁻¹	54.43	b	1.19	2.19	
	45 mg L ⁻¹	54.54	b	0.95	1.74	
Doz	10 mL	53.89	a	1.29	2.40	0.60
	7.5 mL	53.96	a	1.26	2.33	
	5 mL	54.17	a	1.22	2.25	
Uygulama Tarihi	47. Gün	53.61	a	1.31	2.43	0.58
	50. Gün	53.99	a	1.29	2.40	
	53. Gün	54.41	b	1.04	1.90	
Kontrol		56.00	c	1.00	1.79	

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir ($P < 0.05$).

Konsantrasyonlar yönünden değerlendirildiğinde, 100 ve 200 mg L⁻¹ GA₃ düzeyleri en kısa çiçeklenme sürelerini (53.39–53.54 gün) oluşturmuş ve “a” grubunda yer almıştır. 60 ve 75 mg L⁻¹ uygulamalarında çiçeklenme süresi bir miktar daha uzun olmakla birlikte (54.13–54.43 gün), kontrol grubuna göre yine de kısalmıştır. 45 mg L⁻¹ düzeyi ise benzer şekilde “b” grubunda toplanmıştır (Şekil 3).

Şekil 3

GA₃ konsantrasyonu ve uygulama tarihine göre çiçeklenme süresi (gün).



Doz faktörü incelendiğinde, 5, 7.5 ve 10 mL dozlarının çiçeklenme süresi üzerine benzer etki gösterdiği; tüm GA₃ dozlarında kontrol grubuna göre çiçeklenme süresinin kısaldığı görülmektedir. Uygulama tarihleri açısından en kısa çiçeklenme süresi 47. ve 50. günlerinde yapılan uygulamalarda elde edilmiş; 53. Günde yapılan uygulamada ise çiçeklenme süresi nispeten daha uzun bulunmuştur. Kontrol grubunda çiçeklenme süresi 56.00 gün ile en yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Şekil 3, GA₃ uygulamalarının çiçeklenmeye başlama zamanını genel olarak öne çektiğini, buna karşın geç uygulamaların bu etkiyi kısmen zayıflatabildiğini göstermektedir.

Döllenme Oranı

GA₃ uygulamalarının döllenme oranı üzerindeki etkisi de önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Tablo 4, farklı konsantrasyon, doz ve uygulama tarihlerine ait ortalama döllenme oranlarını göstermektedir. Döllenme oranının uygulamalar arasında yaklaşık %30 ile %76 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 4

GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre döllenme oranı (%).

Faktör	Düzy	Ortalama (%)	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	200 mg L ⁻¹	34.67	a*	2.65	7.63	3.44
	45 mg L ⁻¹	50.89	b	8.68	17.05	
	100 mg L ⁻¹	55.78	c	5.33	9.56	
	60 mg L ⁻¹	64.15	d	7.12	11.10	
	75 mg L ⁻¹	70.15	e	3.96	5.64	
Doz	10 mL	52.60	a	11.98	22.77	6.36
	5 mL	54.31	b	13.52	24.90	
	7.5 mL	58.47	b	14.70	25.15	
Uygulama Tarihi	53. Gün	50.60	a	13.43	26.55	6.22
	47. Gün	55.11	b	12.96	23.52	
	50. Gün	59.67	b	13.06	21.89	
Kontrol		37.00	a	1.00		

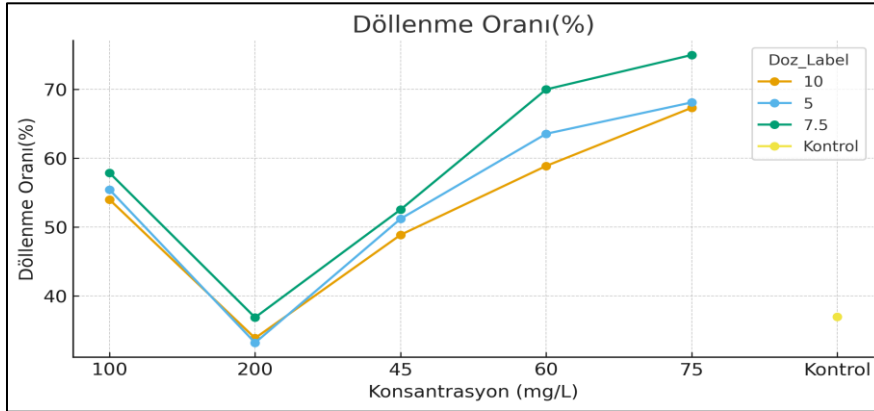
*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir ($P < 0.05$).

Konsantrasyonlar incelendiğinde, en düşük döllenme oranlarının 200 mg L⁻¹ düzeyinde (%34.67) ortaya çıktığı, bunu 45 mg L⁻¹ ve 100 mg L⁻¹ uygulamalarının takip ettiği görülmektedir. Buna karşılık, 60 ve 75 mg L⁻¹ GA₃ uygulamaları döllenme oranı açısından en yüksek değerlere (% 64.15 ve %70.15) ulaşmış ve “d” ve “e” gruplarında yer almıştır. Bu sonuçlar, orta düzey GA₃ uygulamalarının generatif başarıyı desteklediğini, daha yüksek konsantrasyonlarda ise döllenme oranının belirgin şekilde

düştüğünü ortaya koymaktadır.

Şekil 4

GA₃ konsantrasyonu ve uygulama tarihine göre dölleme oranı (%)



Doz açısından bakıldığında, 5 ve 7.5 mL uygulamaları daha yüksek dölleme oranları sağlarken, 10 mL dozunda bu oranın azaldığı görülmektedir. Uygulama tarihleri içinde en yüksek dölleme oranları 47. ve 50. günlerinde kaydedilmiştir; 53. Günde yapılan uygulama ile kontrol grubu daha düşük değerler vermiştir. Şekil 4, GA₃ konsantrasyon ve uygulama zamanına bağlı olarak dölleme başarısının nasıl değiştiğini görsel olarak da doğrulamaktadır.

TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular, GA₃'nin ayçiçeğinde büyüme ve gelişim süreçlerini çok yönlü olarak etkilediğini göstermektedir. Özellikle 75–200 mg L⁻¹ aralığındaki uygulamalarda bitki boyunda gözlenen belirgin artış, bu hormonun hücre uzamasını teşvik eden fizyolojik rolü ile uyum içindedir. GA₃'nin hücre duvarı esnekliğini artırarak internod uzamasını hızlandırdığı ve böylece bitki boyunun uzamasına katkı sağladığı daha önceki çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Rademacher, 2000; Taiz & Zeiger, 2010). Çalışmamızda yüksek konsantrasyonların belirgin boy artışı oluşturmaması, bu mekanizmaların ayçiçeğinde de etkin olduğunu düşündürmektedir.

Ayçiçeği üzerine yapılan araştırmalar da GA₃'nin benzer şekilde bitki boyunu artırdığını ortaya koymaktadır. Kaya (2019), GA₃ uygulamalarının ayçiçeğinde bitki boyunda %15–20 düzeyinde artış sağladığını bildirmiştir; Ahmed ve ark. (2020) ise 100–200 mg L⁻¹ GA₃ konsantrasyonlarında en yüksek uzama etkilerini elde ettiklerini rapor etmiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızda 100 ve 200 mg L⁻¹ düzeylerinde görülen yüksek bitki boyu ortalamaları ile paralellik göstermektedir. Dozlar arasında büyük farklılıkların ortaya çıkmaması, GA₃'nin yaprak yüzeyinden hızla emilen ve düşük uygulama hacimlerinde dahi etkili olabilen bir hormon olduğunu düşündürmektedir. Singh ve Gill (2016), GA₃'nin foliar uygulama sonrasında kısa sürede absorbe edildiğini ve belirli bir hacimden sonra artan uygulama miktarının etkiyi artırmadığını bildirmiştir; bu bulgu, çalışmamızdaki doz davranışı ile örtüşmektedir. Uygulama zamanları arasındaki farklılıklar da literatürle uyumlu olup, özellikle vejetatif gelişimin erken safhalarında yapılan uygulamaların daha güçlü yanıt oluşturduğu bildirilmektedir (Mutui ve ark., 2002; Göksoy ve ark., 2009). Çalışmamızda 02.08 ve 05.08 tarihlerinde yapılan uygulamaların daha yüksek bitki boyu ile sonuçlanması, GA₃'nin etkisinin bitkinin fenolojik dönemine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır.

Tabla 4'teki azalmalar, GA₃'nin vejetatif organ gelişimini desteklerken generatif yapıları görece olarak geri planda bırakması ile ilişkilendirilebilir. Daha önceki çalışmalar, GA₃'nin güçlü uzama etkisinin, fotosentetik ürünlerin ve kaynakların sürgün ve gövde gibi yapılar lehine yönlendirilmesine yol açabileceğini belirtmiştir (Rademacher, 2000; Taiz & Zeiger, 2010). Bu durum, çalışmamızda

özellikle 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında tabla çapında belirgin daralmalar görülmesiyle uyumludur. Kaya (2019) ve Ahmed ve ark. (2020) de yüksek GA₃ dozlarının generatif organ gelişimini sınırlandırabileceğini ve tabla büyüklüğünün bu durumdan olumsuz etkilenebileceğini ifade etmektedir. Çalışmamızda 10 mL'lik en yüksek uygulama hacminde tabla çapının en düşük seviyeye düşmesi, Singh ve Gill (2016)'ın yüksek hacimli uygulamaların hormon dengesini bozabileceğine ilişkin bulgularıyla da örtüşmektedir. Genel olarak bakıldığında, GA₃'nin ayçiçeğinde tabla çapını artırıcı değil, azaltıcı bir etkiye sahip olduğu ve bu etkinin özellikle yüksek konsantrasyonlarda daha belirgin hâle geldiği söylenebilir.

Çiçeklenme süresindeki kısalma, GA₃'nin generatif geçişi hızlandırıcı fonksiyonu ile açıklanabilir. GA₃'nin birçok bitki türünde çiçeklenmeyi indükleyici bir sinyal olarak işlev gördüğü, fenolojik aşamaların hızlanmasına katkı sağlayabildiği bilinmektedir (Taiz & Zeiger, 2010). Ayçiçeğinde yürütülen çalışmalarda da GA₃ uygulamalarının çiçeklenme süresini birkaç gün kısaltabildiği bildirilmiştir (Kaya, 2019; Ahmed ve ark., 2020). Çalışmamızda özellikle 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinde çiçeklenme süresinin belirgin şekilde azalması, bu konsantrasyon aralığının fenolojik geçişi hızlandırmak için uygun olduğunu düşündürmektedir. Buna karşılık 10 mL gibi daha yüksek uygulama hacimlerinde sürenin tekrar uzama eğilimi göstermesi, Singh ve Gill (2016)'ın yüksek GA₃ uygulamalarında metabolik dengenin bozulabileceği yönündeki değerlendirmeleriyle uyumludur. Bu sonuçlar, GA₃'nin çiçeklenme süresini kısaltma potansiyeli olduğunu, ancak optimum düzeylerin üzerinde yapılacak uygulamaların bu avantajı zayıflatabileceğini ortaya koymaktadır.

Döllenme oranında gözlenen değişimler, GA₃'nin generatif fizyoloji üzerinde iki yönlü etki gösterebildiğini düşündürmektedir. Mutui ve ark. (2002), düşük ve orta düzey GA₃ uygulamalarının polen canlılığını ve döllenme başarısını artırabildiğini, buna karşılık yüksek konsantrasyonların fertilitiyi olumsuz etkileyebileceğini rapor etmiştir. Çalışmamızda 200 mg L⁻¹ uygulamasının en düşük döllenme oranını vermesi bu bulguyu desteklemektedir. Kaya (2019) ile Ahmed ve ark. (2020) de GA₃'nin generatif organ gelişimine duyarlı bir hormon olduğunu, yüksek dozların verim unsurları üzerinde baskılayıcı etki oluşturabileceğini vurgulamıştır. Çalışmamızda 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinin en yüksek döllenme oranlarını sağlaması, literatürde optimum GA₃ aralığı olarak ifade edilen değerlerle uyum içindedir. Buna karşın 100–200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarının döllenme oranını düşürmesi, hormonun yüksek düzeylerde generatif fizyolojiyi baskıladığına işaret etmektedir. Genel değerlendirmede GA₃'nin, düşük ve orta konsantrasyonlarda döllenme başarısını artırabilen; ancak yüksek düzeylerde erkek kısırlığa yol açabilecek ölçüde generatif süreci sınırlandıran bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Bu bulgular, GA₃ uygulamalarının yalnızca bitkinin vejetatif büyümesini değil, aynı zamanda generatif organların işlevini de önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek GA₃ konsantrasyonlarında döllenme oranındaki belirgin azalma, literatürde bildirilen GA₃ kaynaklı geçici erkek kısırlık (chemical male sterility) olgusu ile örtüşmektedir (Davis, 1982; Kaul, 1988). Polen canlılığının düşmesi, anter gelişiminin baskılanması ve stigma reseptivitesinin zayıflaması yüksek dozlara verilen tipik tepkiler olarak görülmektedir. Çalışmamızda yüksek GA₃ uygulamalarının döllenme başarısını sınırlaması, bu hormonun kontrollü dozlarda kullanılması hâlinde hibrit tohum üretiminde kimyasal melezleme ajanı (CHA) olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Nitekim 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinde bitki boyunun artmasına karşın generatif yapının tamamen baskılanmaması; ancak 100–200 mg L⁻¹ düzeylerinde döllenme oranının keskin şekilde düşmesi, GA₃'nin erkek kısırlık indüksiyonunda doza bağımlı bir mekanizmaya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, ayçiçeği gibi böceklerle tozlanan türlerde klasik CMS sistemlerine ek olarak kimyasal temelli alternatif bir yaklaşım geliştirilmesi açısından dikkat çekicidir. Sonuç olarak GA₃'nin, uygun doz ve zamanlama ile kullanıldığında hem büyüme düzenleyicisi hem de melezleme aracı olarak ayçiçeği ıslah programlarına entegre edilebilecek çift yönlü bir potansiyel taşıdığı söylenebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada farklı GA₃ konsantrasyonlarının, uygulama hacimlerinin ve uygulama zamanlarının ayçiçeğinin temel morfolojik ve generatif özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, GA₃'nin bitkinin büyüme dinamikleri üzerinde güçlü ve yönlendirici bir etkiye sahip olduğunu; ancak bu etkinin doza ve uygulama zamanına son derece duyarlı olduğunu göstermiştir.

Bitki boyu, GA₃ uygulamalarına en belirgin yanıt veren özellik olmuş; özellikle 75–200 mg L⁻¹ aralığındaki uygulamalar bitki boyunda kayda değer artış sağlamıştır. Buna karşın generatif gelişimi temsil eden tabla çapı ve dölleme oranı gibi özellikler, yüksek GA₃ seviyelerinde baskılanmış ve değerlerin belirgin şekilde düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlar, GA₃'nin yüksek dozlarda vejetatif gelişimi desteklerken generatif süreçleri sınırlandırdığını göstermektedir. Çiçeklenme süresinin GA₃ uygulamalarıyla kısılması ise hormonun fenolojik geçişi hızlandırıcı işlevine işaret etmektedir. Dölleme oranında en yüksek değerlerin 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinde elde edilmesi, ayçiçeğinde GA₃'nin optimum konsantrasyonlarda kullanıldığında generatif performansı iyileştirebileceğini; ancak yüksek dozlarda bu avantajın tersine dönebileceğini ortaya koymuştur.

Bu bulgular ışığında, GA₃'nin ayçiçeğinde hem bir büyüme düzenleyicisi hem de belirli koşullarda geçici erkek kısırlık oluşturabilecek bir ajan olarak çift yönlü potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda dölleme oranının keskin biçimde düşmesi, GA₃'nin kimyasal melezleme ajanı (CHA) olarak değerlendirilebilecek nitelikte bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, hibrit tohum üretiminde klasik CMS sistemlerine alternatif olabilecek kimyasal temelli bir yaklaşımın geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Araştırmadan elde edilen bulgular, GA₃'nin ayçiçeğinde hem vejetatif hem de generatif gelişim üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Bu nedenle GA₃ uygulamalarının üretim ve ıslah programlarında dikkatle planlanması gerekmektedir. Çalışma sonuçları özellikle 60–75 mg L⁻¹ konsantrasyon aralığının bitki boyunda artış sağlarken generatif yapıda önemli bir kayba neden olmadığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu düzeyin ayçiçeği yetiştiriciliğinde optimum GA₃ aralığı olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Öte yandan 100–200 mg L⁻¹ gibi daha yüksek konsantrasyonların dölleme oranını düşürdüğü görülmüş; bu durum GA₃'nin uygun koşullarda geçici erkek kısırlık oluşturabilen bir bileşik olarak hibrit tohum üretiminde kimyasal melezleme ajanı şeklinde kullanılabileceğine işaret etmiştir.

Uygulama zamanının da sonuçlar üzerinde önemli bir belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle erken dönemde yapılan GA₃ uygulamalarının hem bitki boyu hem de dölleme oranı açısından daha olumlu sonuçlar vermesi, zamanlamanın hormon etkinliğinde kritik bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanında farklı uygulama hacimlerinin benzer sonuçlar vermesi, GA₃'nin düşük hacimlerde dahi etkili olabildiğini ve belirli bir eşikten sonra artan hacmin bitki üzerinde ek bir avantaj yaratmadığını göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında yürütülen tüm araştırma süreçlerinde sağladıkları teknik destek, araştırma altyapısı ve imkânlar için Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne teşekkür ederim. Deneme alanlarının kullanımında sundukları kolaylıklar, laboratuvar imkânları ve çalışma boyunca gösterdikleri iş birliği, araştırmanın başarıyla tamamlanmasına önemli katkı sağlamıştır. Ayrıca arazi ve laboratuvar çalışmalarında destek veren enstitü personeline de değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

REFERANSLAR

- Aboki, M. A., Mohammed, M. S., & Aliyu, B. S. (2012). Genetic diversity in wild *Helianthus* species: An overview. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 6(3), 134–141.
- Ahmed, F., Shahid, M., & Rehman, H. (2020). Effect of gibberellic acid (GA₃) on growth and yield attributes of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agricultural Research*, 58(3), 245–253.
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 20th Ed.
- Bhat, T. A., Sofi, P. A., Rather, A. G., & Anwar, F. (2011). Influence of growth regulators on growth and yield traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, 34(54), 87–94.
- Cockerell, T. D. A. (1904). The North American *Helianthus annuus* complex. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences*, 56, 315–335.
- FAO. (2022). FAOSTAT Agricultural Data.
- Davis, A. R. (1982). The effects of gibberellins on stamen and pollen development. *Annals of Botany*, 50, 345–354.
- Ghaffar, A., & Rauf, S. (2014). Hormonal regulation of flowering and yield attributes in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(2), 365–372.
- Göksoy, A. T., Türkeri, M., & Kaya, M. (2009). Effects of different growth stages on physiological responses of sunflower to plant growth regulators. *Turkish Journal of Field Crops*, 14, 123–130.
- Fick, G. N. (1978). Cytoplasmic male sterility in sunflower: Inheritance and utilization in breeding. *Crop Science*, 18, 335–340.
- Filippi, C., Hernández, L. F., & Hall, A. J. (2014). Oil biosynthesis and source–sink relationships in sunflower. *Field Crops Research*, 166, 11–16.
- Horn, R. (2002). The molecular basis of cytoplasmic male sterility and fertility restoration in *Helianthus annuus*. *Plant Molecular Biology*, 50, 855–870.
- Jan, C. C. (1997). Wild *Helianthus* species as a genetic resource. *Field Crops Research*, 50, 37–46.
- Jan, C. C. (2014). Advances in sunflower hybrid seed production. *Helia*, 37(60), 1–12.
- Kaya, M., Yılmaz, S., & Arslan, B. (2018). Recent advances in sunflower breeding: Yield and stress tolerance. *Helia*, 41(69), 95–112.
- Kaya, M. (2019). Gibberellic acid (GA₃) applications improving growth parameters in sunflower. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 34(4), 561–568.
- Kaya, M., & Atak, Ç. (2012). The effects of GA₃ on plant height and reproductive traits in sunflower. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31, 310–318.
- Kaul, M. L. H. (1988). *Male Sterility in Higher Plants*. Springer-Verlag, Berlin.
- Kaur, R., Sharma, P., & Singh, S. (2013). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to different levels of gibberellic acid (GA₃) on growth and flowering behaviour. *International Journal of Agricultural Sciences*, 5(2), 210–215.
- Leclercq, P. (1969). Une stérilité mâle cytoplasmique chez le tournesol. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 19, 99–106.
- Lee, H., Zhou, X., & Zhang, L. (2021). Chemical hybridizing agents and their application in hybrid

- seed production. *Agronomy*, 11(4), 655.
- Mandel, J. R., Nambeesan, S., & Burke, J. M. (2013). Origins and genetic diversity of domesticated sunflower. *Genetics*, 194, 1029–1040.
- Mut, Z., Sezer, I., & Gülümser, A. (2006). Effect of different plant growth regulators on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(4), 881–884.
- Mutui, T. M., Emongor, V. E., & Hutchinson, M. J. (2002). Effect of gibberellic acid on growth, flowering and vase life of tuberose. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21, 381–387.
- Rademacher, W. (2000). Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and metabolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 501–531.
- Singh, G. ve Gill, S. S. (2016). Foliar absorption and growth responses to gibberellic acid in different application volumes. *International Journal of Plant Sciences*, 8(2), 45–52.
- Singh, V., Kumar, R., & Singh, P. (2010). Effect of plant growth regulators on growth and flowering behaviour in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 2(1), 45–50.
- Škorić, D. (2012). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*, 35(57), 1–16.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th ed.). Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- TÜİK (2020). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Virmani, S. S. (1994). Heterosis and hybrid rice breeding. *Springer*, 3–24.
- Wit, F. (1960). Male sterility in sunflower and its significance in hybrid seed production. *Euphytica*, 9, 349–359.
- Zhang, L., Chen, X., & Wang, Y. (2008). Advances in chemical hybridizing agents used in crop breeding. *Plant Breeding Reviews*, 30, 77–112.